



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – PIBIC

**ESTUDO ESTATÍSTICO DA CORRELAÇÃO ENTRE VALORES DE
MI E UMIDADE DO SOLO**

Área do conhecimento: Máquinas e equipamentos agrícolas
Subárea do conhecimento: Pós-colheita
Especialidade do conhecimento: Processamento de Sinais

Relatório Final
Período da bolsa: de 2017 a 2018

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica

PIBIC/COPES

Orientador: Prof. Dr. Adilson Machado Enes
Autor: Luiz Diego Vidal Santos



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

Sumário

RESUMO	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. Objetivo Geral.....	20
2.2. Objetivos específicos.....	20
3. REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1 Considerações iniciais sobre o biospeckle	20
1.1.1. Metodologias de Avaliação do biospeckle	20
1.1.2. Momento de inércia (MI).....	20
1.2. Análise de frequência do biospeckle laser.....	22
1.2.1. A transformada de Fourier.....	22
1.2.2. Filtros utilizando a Transformada de Fourier.....	25
1.3. Sensores utilizados para quantificar parâmetros no solo.....	26
1.4. Microbiologia do Solo	26
1.5. Indicadores Biológicos do Solo.....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1. Metodologia usada no Levantamento Bibliográfico.....	28
4.3 Análise da umidade do solo.....	28
4.4 Nova Metodologia implementada para captura de imagens	31
4.5 Equipamentos Utilizados.....	34
4.6 Análise estatística	34
RESULTADOS	34
4.2. Mapeamento em Frequência por Fourier e Wavelets ensaios preliminares	34
5.2 Comparativo entre níveis diferentes de umidade do solo	37
1. Conclusão parcial	38
2. Trabalhos futuros e perspectiva	38
3. Referencias Bibliográficas.....	39



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

RESUMO

O *biospeckle* laser é um fenômeno óptico de interferência que ocorre quando há incidência de luz coerente em um material biológico que exibe algum tipo de atividade. Esta atividade pode ser decorrente de processos biológicos ou de fatores puramente físicos, como a evaporação e a vibração ambiental. O conjunto de elementos físicos e biológicos que alteram o padrão de interferência do *biospeckle* laser é constituído por diversos elementos. Atualmente, diversas técnicas de processamento de imagens tem sido empregadas para quantificar o nível de atividade de materiais biológicos por meio do *biospeckle* laser. A diferenciação desses elementos é de fundamental importância para o aproveitamento do fenômeno em aplicações reais. Esta diferenciação permite a elaboração de procedimentos de análise rápidos, automáticos, objetivos e não destrutivos. Esta técnica tem sido empregada em diversos tipos de análises, nas mais diversas áreas, como por exemplo, análise de sementes, termodinâmica, medicina, entre outros. Estudos recentes demonstram que a identificação e mapeamento dos fenômenos decorrentes da atividade biológica em materiais é possível por meio de técnicas de análise de frequência como a Transformada de Fourier e a Transformada de Wavelets (ENES, 2007). Outro fator que contribui para que ocorram alterações nos padrões de *speckle* dinâmico é a atividade de água. A identificação de qual frequência está relacionada a presença de água, é importante, pois pode abrir caminho para diversas aplicações para o fenômeno, como o desenvolvimento de sensores para irrigação, bem como identificação das propriedades biológicas do solo. Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial do *biospeckle* laser e análises com *Waveletes* no monitoramento de teor de água em um solo de textura arenosa, típico do estado de Sergipe.

PALAVRAS CHAVES: Biospeckle, laser, teor de água, processamento de imagens



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho baseia-se na ocorrência de um fenômeno óptico conhecido na física como *speckle dinâmico*, tendo, sua nomenclatura, sofrido alterações à medida que se descobriu novas aplicações para o mesmo. Uma dessas alterações atribui ao fenômeno a denominação *biospeckle*, sendo esta, adotada preferencialmente quando o fenômeno ocorre em consequência de alguma atividade biológica.

Enes (2007) entre outros autores, descreve o fenômeno da seguinte forma:

“o *biospeckle* ou *speckle* dinâmico é um fenômeno óptico de interferência que ocorre quando há incidência de luz coerente em materiais, cujas superfícies sejam opticamente rugosas e que possuem algum tipo de atividade. O padrão de interferência formado está diretamente relacionado à posição e ao arranjo dos objetos espalhadores, sendo que, a mínima perturbação nesse arranjo irá provocar alterações no padrão de interferência resultante. Consequentemente, pode-se afirmar que as alterações ocorridas no padrão de interferência carregam informações relativas à atividade na superfície do objeto iluminado, bem como abaixo dela.”(Enes, 2007, p.10).

O embasamento teórico e experimental aponta no sentido de que é possível identificar a frequência de *biospeckle* que sofre interferência da água, este tipo de análise é importante, pois, se aplicada no solo agrícola, pode abrir caminho para diversas aplicações como o desenvolvimento de sensores para irrigação, bem como a identificação das propriedades biológicas do solo.

Em materiais biológicos, os níveis de atividades estão diretamente relacionados com a viabilidade celular, troca de gases, respiração, atividade microbiana e atividade de água (**aw**). Por esta razão, o fenômeno tem sido estudado como uma potencial ferramenta na análise de qualidade e viabilidade de diversos materiais biológicos, como viabilidade de semem, patologias cutâneas em seres humanos (SILVA, 2007), identificação de parasitos no sangue (ROMERO, 1999), mapeamento de nervuras do tecido vegetal e medição de fluxo sanguíneo (SILVA, 2007).

Na Engenharia Agrícola os esforços no emprego da técnica têm se concentrado na busca por métodos rápidos, objetivos e não destrutivos para a avaliação de materiais biológicos, sobretudo na área de sementes, sendo os principais estudos relacionados à avaliação de viabilidade e vigor de sementes, diferenciação de sementes, mapeamento de áreas com atividades distintas (BRAGA JR, 2000), avaliação do teor de água e identificação de espécies de fungos (BRAGA JÚNIOR *et al.*, 2005).

As principais técnicas empregadas na análise do fenômeno são baseadas na variação temporal dos dados com estatísticas de primeira e segunda ordem, tais como a História Temporal do *Speckle* (STS) e as Matrizes de Ocorrências Modificadas (MOC), permitindo tanto a criação de mapas de atividades, empregando técnicas tais como as Diferenças Generalizadas (DG) e o Método de **Fujji**,



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

como a quantificação do fenômeno, empregando a técnica conhecida como Momento de Inércia (**MI**) ou Módulo de Dispersão de Intensidades (**MDI**).

Até o momento, as propostas de utilização do *biospeckle* laser têm ficado restritas ao laboratório, uma vez que diversos fatores como a vibração ambiental e ruídos externos, podem interferir nas medições, exigindo que as mesmas sejam feitas em ambiente controlado. No entanto, estudos recentes envolvendo a análise de frequência do *biospeckle* laser (ENES, 2011), demonstram ser possível utilizar as Transformadas de Wavelets (**TW**) e as Transformadas de Fourier (**TF**), para isolar frequências do padrão de atividade do *biospeckle*, permitindo assim, estabelecer uma correlação entre determinadas frequências e os elementos físicos e/ou biológicos que as perturbaram.

Sabe-se que os avanços mais notáveis no campo de máquinas agrícolas dos últimos tempos tem se dado no campo da agricultura de precisão, que busca o controle de forma precisa dos parâmetros e variáveis responsáveis por influenciar a produtividade, como por exemplo, a fertilidade do solo. Para atingir este propósito, sensores são instalados nas máquinas, permitindo que os dados referentes à produtividade sejam comparados com outros fatores, o que possibilita um controle mais efetivo, preciso e econômico dos parâmetros que elevam a produtividade. Por outro lado, Um dos fatores que está intimamente relacionado com a produtividade agrícola, diz respeito à microbiologia do solo. A atividade microbiológica do solo é responsável pela estabilização da matéria orgânica e liberação de nutrientes, fazendo com que estes, se tornem disponíveis para as plantas. No entanto, até o momento, não há um sensor capaz de expressar a atividade microbiológica presente no solo. O embasamento teórico associado ao fenômeno *biospeckle* laser, permite supor que a atividade microbiológica do solo pode ser quantificada de forma indireta, e suas perturbações nas frequências de atividade podem ser estudadas e classificadas com técnicas de análise de frequência. Como a água costuma estar presente no solo em abundancia, a interferência desta deve ser isolada durante o processamento.

Diante dos fatos apresentados, este projeto visa propor o estudo e modelamento da frequência de interferência da água no solo por meio do fenômeno *biospeckle* laser e avaliar o potencial do *biospeckle* laser empregado no monitoramento de teor de água em um solo de textura arenosa, típico do estado de Sergipe. Este conhecimento será importante, pois no futuro, poderá ser usado para o desenvolvimento de sensores que permitirão indicar de forma indireta, a atividade microbiológica do solo, bem como seu teor de água, contribuindo para aumentar os parâmetros monitorados no mapeado em agricultura de precisão, bem como no manejo de culturas irrigadas.

A presente proposta visa dar continuidade aos experimentos iniciados em 2015, nos quais os estudos de modelamento da interação do fenômeno fora feitas com base na Transformada de Fourier, nesta nova abordagem as Transformadas de Wavelets serão usadas buscando uma melhor compreensão



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

do fenômeno estudado.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Correlacionar as medidas obtidas de Momento de Inercia com os valores de umidade do solo

2.2. Objetivos específicos

- Determinar uma progressão de umidade utilizando o método MI;
- Comparar medidas obtidas pelo método MI aos métodos usuais na literatura;
- Correlacionar as medidas obtidas de Momento de Inercia com os valores de umidade do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Considerações iniciais sobre o biospeckle

O *biospeckle* pode ser definido como sendo um fenômeno óptico de interferência que ocorre quando o laser incide sobre uma superfície onde se desenvolve um processo dinâmico (RABELO, 2000). Esse fenômeno é bem conhecido em estudos de óptica, e ocorre quando a luz laser incidente se espalha sobre uma superfície, a qual exibe algum tipo de atividade. Pode ser notado quando se ilumina, com luz laser, materiais biológicos, como por exemplo, sementes, ou em fenômenos não biológicos como a corrosão e a evaporação. Se o objeto difusor se move, os grãos individuais do padrão de *speckle* também se movem alterando assim, a sua forma. Isso permite supor que os padrões de *speckle* dinâmico contêm informações sobre o movimento do objeto. Esse fenômeno é muitas vezes denominado de *boiling speckle* devido ao fato de sua aparência visual ser similar a um líquido em ebulição, podendo também, ser descrito como um fervilhamento luminoso.

Por ser dinâmico, o *biospeckle* deve ser analisado com técnicas de processamento de imagens e tratamento estatístico, uma vez que a observação visual permite apenas a identificação da existência do fenômeno, mas não permite quantificá-lo (RABAL; TRIVI E ARIZAGA, 1996).

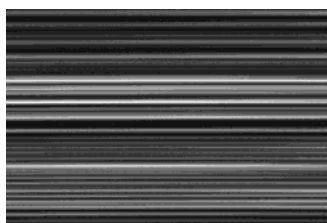
1.1.1. Metodologias de Avaliação do biospeckle

1.1.2. Momento de inércia (MI)

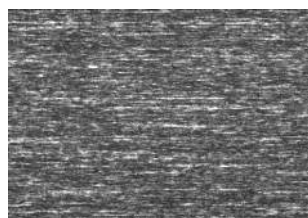
Rabelo (2000) explica o que vem a ser o STS, bem como, o módulo de dispersão de intensidades, da seguinte forma:

O Padrão temporal do “speckle” (STS) constitui-se de uma manipulação das diversas imagens obtidas da superfície do objeto iluminado pelo laser. De cada imagem conseguida, retira-se uma linha que é colocada ao lado da linha da imagem subsequente, formando uma imagem de 512x512 “pixels” denominada de STS. A ocorrência de algum movimento superficial ou interno do material será transmitida para a figura do “speckle” formado e assim, a linha observada será diferente da anterior. Por outro lado, se a figura formada for composta por linhas bem definidas, significa que não está ocorrendo mudança na formação do “speckle” de uma imagem para a outra, repetindo sempre o mesmo padrão de antes. (RABELO, 2000, p. 12).

Conforme a explicação do autor, a figura 1a apresenta o STS de um material que não possui atividade, enquanto que a figura 1-b, apresenta o STS de um material que exibe alta atividade.



1 a – STS sem atividade



1 b – STS alta atividade

Figura 1 - Imagens de STS sem atividade e com alta atividade respectivamente. Fonte: (RABELO, 2000).

A imagem do STS carrega informações relativas à atividade do material sob estudo. Embora as diferenças entre uma imagem STS proveniente de um material de baixa atividade, e uma imagem STS proveniente de um material de alta atividade possa ser visualmente constatada sem maiores dificuldades, esta diferença qualitativa não é suficiente para fins de automação no processamento dos dados. Sendo assim, procurou-se elaborar métodos matemáticos que pudessem expressar de forma numérica o nível de atividade correspondente a uma imagem STS. Para chegar a esta quantificação, torna-se necessário transformar a matriz STS em uma matriz de ocorrências denominada *concurrency matrix* (COM), cuja definição matemática está representada na equação 1.

$$COM = |N_{ij}| \quad (1)$$

em que,

N_{ij} – número de ocorrências de intensidades

i, j – intensidades sucessivas

A matriz de ocorrências assume a forma predominante de uma matriz diagonal, onde os valores principais se concentram em torno da diagonal principal (quando $i = j$). Os desvios da diagonal principal estão relacionados com o nível de atividade, já que quando uma intensidade aparece seguida por um valor diferente significa que ocorreu variação na intensidade do pixel, e neste caso, i é diferente de j . A figura 2 mostra a matriz de ocorrências da figura 1a e Figura 1b, respectivamente.

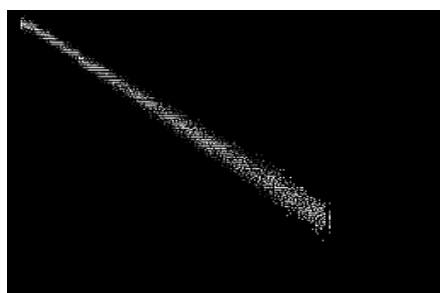


Fig. 2-a MOM baixa atividade

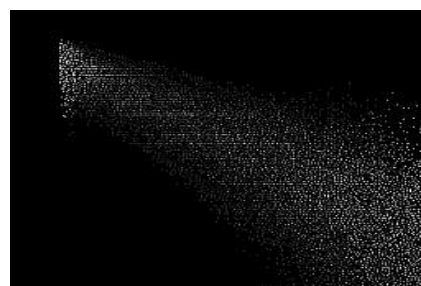


Fig 2-b MOM alta atividade

Figura 2 - Matriz de Ocorrências Modificada das figuras 1 – a e 1 - b, respectivamente. Fonte: (RABELO, 2000).

Para se extrair um número que represente ou quantifique essa dispersão, Arizaga *et al.* (1999) propuseram calcular o momento de inércia (**MI**) da matriz de ocorrências modificada (**MOM**). O método foi estudado por Rabelo (2000), que comprovando sua eficácia passou a tratá-lo como Módulo de Dispersão de Intensidade (**MDI**). Esse parâmetro consiste no somatório dos produtos dos valores de intensidade da matriz pelo quadrado da distância entre cada elemento da matriz e a diagonal principal. A equação 2 representa a operação do módulo de dispersão de intensidades, mais conhecido como momento de inércia (**MI**).

$$MDI = \sum_{ij} M_{ij}(i-j)^2 \quad (2)$$

1.2. Análise de frequência do biospeckle laser

1.2.1. A transformada de Fourier

As técnicas de processamento e quantificação apresentadas até o momento, não avaliaram



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

informações relativas às frequências que compõem os sinais presentes nas imagens, o que poderia



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

trazer mais informações sobre os processos monitorados, uma vez que, cada imagem carrega informações sobre a variação temporal da intensidade do pixel; essa variação, por sua vez, está relacionada com a atividade do material que está sendo iluminado. Dessa forma, é possível decompor a variação de intensidade do pixel em um espectro de frequência, a exemplo do que é feito na análise de um sinal de áudio. Assim, ao considerar que uma linha amostral retirada de imagens sucessivas de 512 pontos contém uma função temporal estacionária, essa função pode ser decomposta em uma série de harmônicos através da Transformada de Fourier. Como os dados se apresentam de forma discreta, utiliza-se a transformada discreta de Fourier. Esta transformada pode ser calculada para todo vetor de comprimento 2^n através de um algoritmo computacional denominado *Fast Fourier Transforme (FFT)* ou Transformada Rápida de Fourier, conforme descrito nos trabalhos de Loan (1992); Meyer (2000); Oppenheim, Schaffer e Buck (1999); Press (1992); Rivest, Shamir e Adleman (1978). A equação 5 é a expressão da Transformada de Fourier para uma função contínua.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{j\omega t} dt \quad (3)$$

A equação 6 representa a convolução da função f pela função g .

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) g(t - \tau) d\tau \quad (4)$$

A equação 7 expressa a correlação cruzada entre duas funções, denominadas f e g .

$$(fg)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) g(t - \tau) d\tau \quad (5)$$

Quando $g=f$, tem-se a autocorrelação, que pode ser representada pela equação 8.

$$f * f^* \quad (6)$$

Em que f^* representa a função f invertida no tempo. Segundo o teorema de Wiener-Kintchine, a transformada de Fourier da autocorrelação de uma função f qualquer é igual ao quadrado do Módulo da transformada de Fourier da função f (equação 9).



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

$$\mathfrak{I}\{f * f^{-*}\} = |F|^2 \quad (7)$$

Por outro lado, o Teorema da Convolução, diz que a transformada de Fourier da convolução de uma função f é igual ao quadrado da transformada de Fourier da função f (equação 10).

$$\mathfrak{I}\{f * f\} = F^2 \quad (8)$$

Dessa forma, pode-se afirmar que o módulo da transformada de Fourier da convolução é numericamente igual a transformada de Fourier da autocorrelação (equação 11).

$$|\mathfrak{I}\{f * f\}| = |F^2| = |F|^2 = \mathfrak{I}\{f * f^{-*}\} \quad (9)$$

Isto permite supor que, tanto a convolução da Transformada de Fourier quanto a correlação, podem ser igualmente utilizadas para a realização de trabalhos que permitam a análise de frequência de imagens.

1.2.2. Filtros utilizando a Transformada de Fourier

O uso das transformadas de Fourier (TF) não se limita a simples análise de frequências, mas também permitem a criação de filtros para a eliminação de determinadas faixas de frequências. Isto é conseguido calculando a Transformada, eliminando as faixas de frequência desejadas e realizando a Transformada de Fourier inversa. A eliminação das faixas de frequência é feita eliminando os valores indesejados, normalmente os de alta frequência. No entanto, este processo é limitado, pois não permite



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

trabalhar com partes separadas da imagem (janelas). Para resolver este problema, Galvão *et al.* (2001) cita a Transformada de Fourier Janelada (**TFJ**), sendo que esta, segundo o autor, consiste em dividir a função em regiões (janelas) e aplicar a **TF** em cada uma delas.

Matematicamente, a **TFJ** é definida como:

$$f(p, w) = \sum_{x=0}^{N-1} f(x)w(x-p)e^{-iwx} \quad (1)$$

$w(x)$ é a função de *janelamento* e p é a posição da janela na função.

Segundo Galvão *et al.* (2001), dois fatores afetam a eficiência da **TFJ**, sendo um deles o efeito de borda causado pela criação das janelas, e o outro, a escolha da largura para a função *janelamento*.

Para contornar estes problemas foram introduzidas as transformadas de *wavelets*, que permitem criar janelas com tamanho variável, além de suavizar os contornos, permitindo a reconstrução da função original.

1.3. Sensores utilizados para quantificar parâmetros no solo

De acordo com Molin (1997), os sensores voltados para obtenção de dados diretos do solo, geralmente buscam informações relacionadas às suas propriedades físicas e químicas, como textura, matéria orgânica, umidade, nitrato/nitrogênio e PH. O autor cita ainda, que muitos desses métodos se encontram em estágio experimental.

1.4. Microbiologia do Solo

De acordo com Araújo (2007), a fração biológica é um dos principais componentes do solo. Essa fração é composta por comunidades de pequenos animais (mesofauna) e microrganismos (microfauna e microflora). Muitas das propriedades dos solos são decorrentes da atividade biológica, sendo comum dizer-se que um solo sem atividade biológica é um solo sem vida. As relações e interações entre as diferentes comunidades de organismos do solo contribuem para a manutenção da vida do solo, e para diversos outros processos que, por sua vez, estão intimamente ligados à cadeia trófica.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

Os autores afirmam ainda que os componentes mais numerosos da fração biológica do solo são os microrganismos, representados por integrantes da microfauna (protozoários) e da microflora (fungos, bactérias, algas e vírus). Esses organismos participam ativamente da decomposição de resíduos orgânicos, dos ciclos de reciclagem do nitrogênio, do fósforo e do enxofre e da decomposição de poluentes. Muitos desses componentes, portanto, desempenham um papel vital na construção do solo como suporte físico para as culturas agrícolas.

A pesquisa nas últimas décadas rendeu muitos resultados que contribuíram para um melhor conhecimento das propriedades dos organismos do solo e aproveitamento dos processos biológicos que influenciam na produtividade agrícola. Como exemplos, temos os conhecimentos adquiridos sobre a capacidade de certos microrganismos de modificar ou destruir poluentes e defensivos agrícolas, a habilidade da microflora de produzir substâncias tóxicas às culturas agrícolas e aos animais, a utilização da inoculação de leguminosas em larga escala, a micorrização de mudas de café e árvores frutíferas para o transplante, a utilização de associações entre plantas e microrganismos do solo na recuperação de áreas degradadas pela mineração, remoção da cobertura vegetal e construção civil (ARAÚJO, 2007).

Com relação à importância da biomassa microbiana nos atributos físicos do solo, Baretta (2007) cita que os micro-organismos heterotróficos do solo liberam polissacarídeos de origem microbiana, durante a decomposição da matéria orgânica, que são mais persistentes no solo, quando comparados aos polissacarídeos de origem vegetal, desempenhando relevante papel na estabilidade de agregados. Segundo estes autores, além dos polissacarídeos microbianos, as hifas dos fungos estão ligadas à formação e estabilidade dos agregados.

Segundo Baretta (2007), os microrganismos do solo e suas comunidades estão continuamente mudando e se adaptando às alterações ambientais. A dinâmica natural desse grupo faz deles indicadores potencialmente sensíveis para se avaliar as mudanças no solo resultantes de diferentes práticas e sistemas de manejo.

1.5. Indicadores Biológicos do Solo

A avaliação de atributos biológicos do solo é adequada à maioria dos critérios para a seleção de um indicador de qualidade (DORAN & ZEISS, 2000). A capacidade de responder rapidamente a mudanças no ambiente do solo derivadas das alterações no manejo justifica o uso de microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade do solo (KENNEDY & PAPENDICK, 1995).



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

Experimentos com o uso de indicadores microbiológicos no monitoramento de solos também são realizados em alguns países europeus, onde os indicadores mais comumente usados são a biomassa microbiana e a respiração (NIELSEN & WINDING, 2002).

A biomassa microbiana é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, incluindo bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e macrofauna. Excluindo-se raízes de plantas e animais do solo maiores do que 5,10 µm, a biomassa microbiana corresponde em média, de 2 a 5% do C orgânico do solo (JENKINSON & LADD, 1981) e de 1 a 5% do N total do solo (SMITH & PAUL, 1990).

A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo. Esta representa um importante componente ecológico, porque é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais do solo, utilizando esses materiais como fonte de nutrientes e energia para a formação e o desenvolvimento de suas células, bem como para a síntese de substâncias orgânicas no solo (GAMA-RODRIGUES, 1999).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Metodologia usada no Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico constou de consultas nas principais bases de dados indexadas, buscando pelas palavras chaves biospeckle, análise de solos, análise microbiológica de solos, análise de frequência e speckle dinâmico. Esta etapa foi realizada conforme previsto no cronograma de pesquisa, sendo parte fundamental dessa pesquisa o levantamento de dados a cerca dos estudos que estão sendo realizados sobre o tema, podendo, dessa forma, conduzir os experimentos da segunda etapa em concordância com o resultado das novas pesquisas na área.

4.3 Análise da umidade do solo

As amostras do solo foram coletadas no Campus Rural Universitário da Universidade Federal de Sergipe, classificado segundo (EMBRAPA SOLOS, 1973) como Argissolo Vermelho Amarelo, Figura 3, com as características determinadas através de análise de solos realizada no Instituto de Pesquisa de Sergipe (ITPS) tabela 1.

Tabela 1: Ensaio das amostras de solo

Amostra	Campus Rural - São Cristóvão/SE			Código	1831/18-01	Coleta em	27/04/18
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Matéria Orgânica	12,9	g/dm ³	--	WB (colorimétrico)		08/05/18	
Magnésio	1,05	cmolc/dm ³	--	KCl		09/05/18	
Sódio	0,038	cmolc/dm ³	--	Mehl ich-1		09/05/18	
Potássio	0,05	cmolc/dm ³	--	Mehl ich-1		09/05/18	



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

Hidrogênio + Alumínio	1,82	cmolc/dm ³	--	SMP	08/05/18
pH em SMP	6,7	--	--	MAQS-Embrapa	08/05/18



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

SB-Soma de Bases Trocáveis	2,46	cmolc/dm ³	--	--	09/05/18
CTC	4,28	cmolc/dm ³	--	--	09/05/18
PST	0,89	%	--	--	09/05/18
V - Índice de Saturação de Bases	57,50	%	--	--	09/05/18
pH em Água (RBLE)	5,82	--	--	H ₂ O	08/05/18
Cálcio + Magnésio (RBLE)	2,37	cmolc/dm ³	0,38	KCl	08/05/18
Cálcio (RBLE)	1,32	cmolc/dm ³	0,22	KCl	08/05/18
Alumínio (RBLE)	<0,08	cmolc/dm ³	0,08	KCl	08/05/18
Sódio (RBLE)	8,70	mg/dm ³	2,20	Mehl ich-1	08/05/18
Potássio (RBLE)	20,9	mg/dm ³	1,40	Mehl ich-1	08/05/18
Fósforo (RBLE)	1,40	mg/dm ³	1,39	Mehl ich-1	08/05/18

(RBLE): Ensaio parte do escopo da acreditação deste laboratório como parte da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios, sob número CRL 0424 pela norma NBR ISO/IEC 17025:2005. **MAQS-Embrapa:** Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes, Embrapa 1999. Análise realizada em amostra de terra fina seca em estufa (t.f.s.e.) a 40°C. Conversão de Unidades: cmolc/dm³=meq/100g; g/dm³=% X 10; % = dag Kg-1. **LQ:** Limite de Quantificação do Método.



Figura 3: Trincheira onde foi retirada as amostras de solo para análise de Umidade

Após a coleta do solo, para analisar o nível atual de umidade do solo coletado, foram pesadas em balaça semianalítica Figura 4, cinco amostras de aproximadamente 50g e posteriormente levadas a estufa a 105° durante vinte e quatro horas. De mãos dos valores das amostras pós estufa Figura 4, foi verificado o nível de umidade através do método de determinação de umidade por estufa, o qual se obteve 11% de umidade no solo, valor considerado o inicial aos experimentos.

A partir do valor de umidade inicial (11%), pode-se separar a amostra de solo maior em sete amostras menores de aproximadamente 1kg cada, para diferentes níveis de umidades, os quais se diferenciam em 2,72% a mais que o anterior, ate que foi alcançada a umidade de 30%, tabela 2 para o aumento de umidade foi utilizada agua destilada, pipeta graduada de 25ml Figura 5, para conversão de grama (g) em mililitro (mL), foi considerada temperatura da água a 24°C.

Tabela 2 níveis de
umidade

<i>Nível de umidade</i>	Tratamentos						
<i>inicial</i> 11,00% <i>Água(mL/kg)</i>	Umidade 1	Umidade 2	Umidade 3	Umidade 4	Umidade 5	Umidade 6	Umidade 7
	13,72%	16,44%	19,16%	21,88%	24,60%	27,32%	30,04%
	24,513mL	49,03mL	73,54mL	98,05mL	122,56mL	147,08mL	171,59mL



Figura 4: Amostras pós estufa por 24 horas



Figura 5: Pipeta Graduada utilizada

4.4 Nova Metodologia implementada para captura de imagens

Com o Lazer HeNe incidindo nas amostras de solo Figura 6, foram coletadas imagens através de método direto que consistia dos vídeos direto da câmera através de um cabo AVI e uma conectado em uma placa de vídeo assim, a aquisição dos frames através da quebra do vídeo já roda diretamente no software principal da pesquisa com um intervalo de 0.15 segundos para as aquisições que equivale o tempo de aquisição da câmera para cada frame, evitando assim a interpolação de imagens, a perda de arquivos e principalmente a interferência durante a coleta das imagens. Este método será comparado com o anterior para avaliar a sua eficiência. Na figura 7 vemos um trecho do código implementado no MATLAB:



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA



Figura 6: Câmera, Lazer e Amostras a serem analisadas

```
preview(camera1); %Verifica a qualidade da imagem
for i=1:129
    % preview(camera1)

    img=getsnapshot(camera1);
    imagem8bits = uint8(img(1:480,1:640));
    fname=['seed_num2str(i)'.bmp'];
    imwrite(imagem8bits,fname,'bmp');
    pause(0.15);
    % quebra das imagens em frames
```

Figura 7: Código de captura das imagens

Podemos ver que o método já realiza a coleta dos frames transformados em 8bits que e o tamanho de memória recomendada e corta elas em 480 por 640 uniformizando as imagens adquiridas. Por último foi criado uma interface gráfica para facilitar o uso do sistema como um todo e colocando próximo a realidade do uso popular como mostra a imagem:

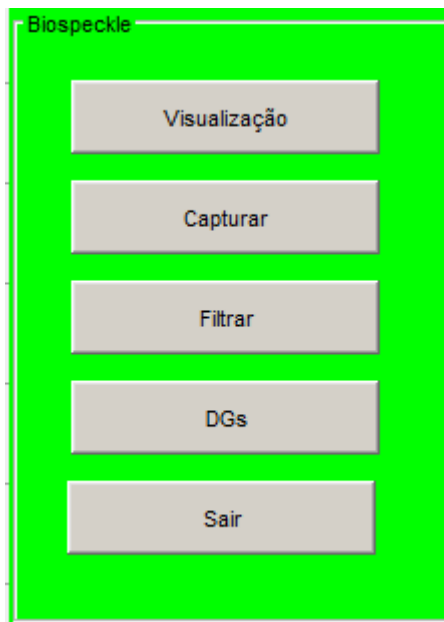


Figura 8: Controle para funcionalidade do novo Código

Para este experimento foi utilizado a captura e separação dos vídeos em frames, para obtenção dos valores de Momento de Inércia (MI), foi utilizado o software ImageJ, de livre uso acadêmico, trecho do código utilizado:

```
//-----
//Occurrence Matrix Construction
//-----

moc = newArray(256*256);
for (i = 1; i < stkSize; i++){
```



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

```
for (x = 0; x < stsHeight; x++){
```

```
moc[arr[x*stkSize+i-1]*256 + arr[x*stkSize+i]] = moc[arr[x*stkSize+i-1]*256 + arr[x*stkSize+i]]+1;}}  
sumArray = newArray(256);  
for (i = 0; i < 256; i++){  
  for (x = 0; x < 256; x++){  
    sumArray[x] = sumArray[x] + moc[x*256+i];}}
```

4.5 Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados foram: um laser HeNe de 632nm de comprimento de onda (vermelho), uma câmera digital filmadora com capacidade de aquisição de 30 frames por segundo e um computador para processamento de dados e filtragem das bandas de frequência por TF e Wavelets, uma balança semianalítica, uma pipeta graduada, formas em alumínio.

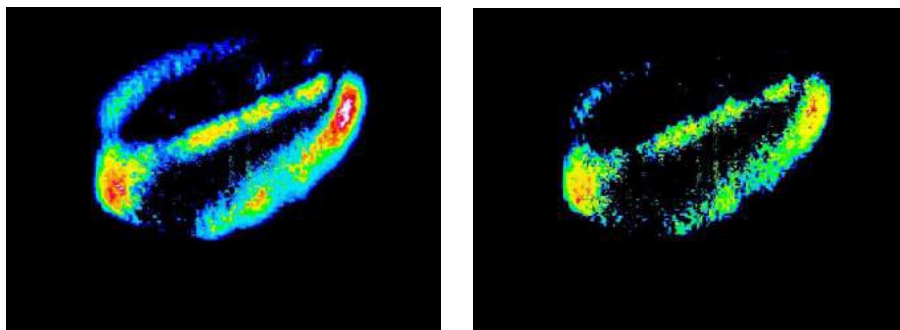
4.6 Análise estatística

Para a avaliação da normalidade dos dados foi utilizado o teste de Normalidade Shapiro-Wilk (S-K) o qual constou que os dados seguem normalidade aceitável para utilização do método de análise de variância (ANOVA). As médias, a partir dos dados obtidos das sete unidades avaliadas, foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e análise de regressão não linear, com melhor ajuste para o modelo logístico, para determinar o comportamento sob a perspectiva de progressão em umidade, foi testado os modelos lineares e polinomial, considerando o melhor ajuste com $R^2 \geq 80\%$.

RESULTADOS

4.2. Mapeamento em Frequência por Fourier e Wavelets ensaios preliminares

Os resultados mostraram haver correlação entre a atividade de água e os níveis de atividade monitorados pelo biospeckle laser, conforme pode ser visualizado na figura 9.



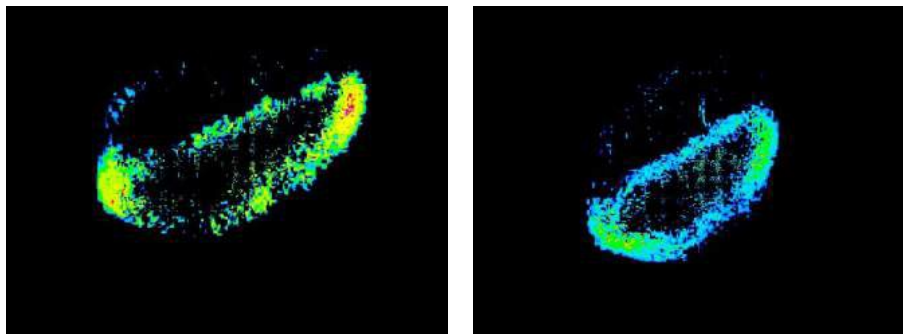


Figura 9: mapeamento de atividade na frequência 25 para os tempos de aquisição de 1 a 4, utilizando Fourier.

Como pode ser observado na Figura 9, o tempo 1 apresenta coloração mais intensa com cores tendendo ao vermelho, caracterizando uma atividade mais intensa do que aquela observada no tempo 2. Como as amostras se encontravam expostas ao ambiente, a diferença de tempo implica em diferença de teor de água, sendo que o tempo 4 corresponde a mesma amostra do tempo 1 porém com um teor de água menor. Este resultado está de acordo com o observado para outros materiais conforme descrito na literatura. Esta comprovação é importante para os próximos passos da pesquisa, permitindo modelar o fenômeno e consequentemente, fornecer subsídios técnico-científicos para a elaboração de novos mecanismos de medição de umidade no solo. A mesma análise foi realizada com o algoritmo de wavelets, utilizando a mesma fonte de imagens coletadas, o resultado pode ser observado na figura 06.

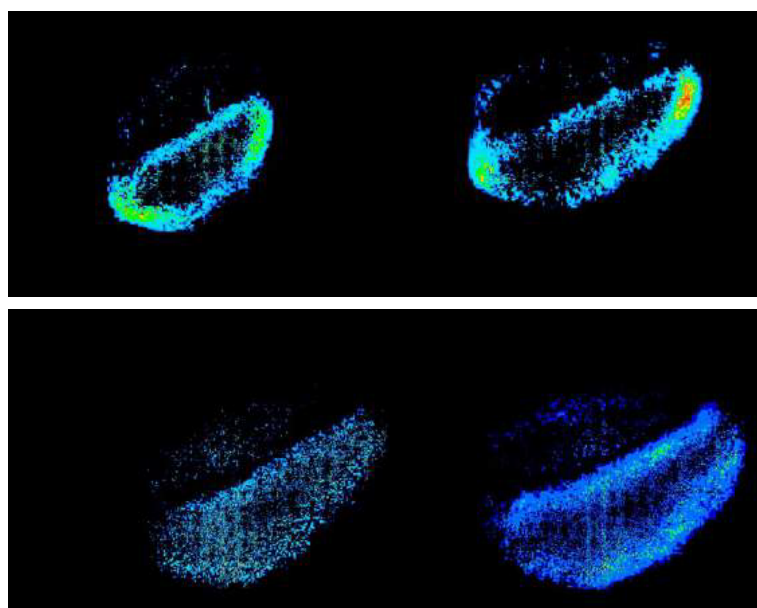


Figura 10 - mapeamento de atividade na frequência 25 para os tempos de aquisição de 1 a 4 utilizando wavelets.

Diferente do resultado obtido com Fourier, as análises com Wavelets não mostraram uma



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

diferenciação tão clara entre o solo com maior teor de água e o solo com menor teor de água, mas



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

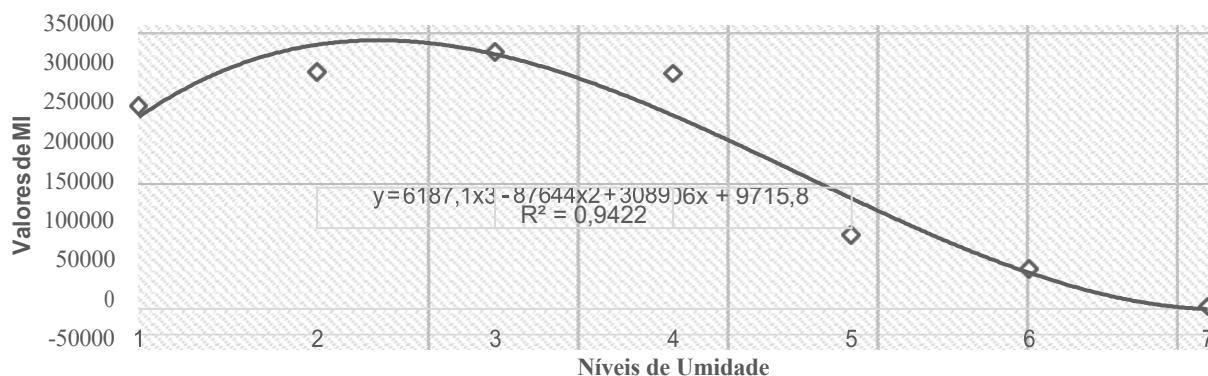
através do método de Momento de Inércia, os dados demonstraram sensibilidade a níveis diferentes de umidade, como demonstra o gráfico 1.

5.2 Comparativo entre níveis diferentes de umidade do solo

Os valores de Momento de Inércia capturados pelo método de biospeckle dinâmico apresentaram diferença significativa, valores constantes na Tabela 3. Com relação ao comportamento da regressão, os primeiros níveis demonstraram um comportamento linear, decaindo no nível 5 o qual apresenta aproximadamente 25% de umidade, umidade que se aproxima das descritas na literatura para a textura presente no Argissolo vermelho amarelo (30%) (TRAXCO, 2018).

Tabela 3: Análise de Variância

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,05007E+12	6	1,75011E+11	25,17541635	5,15338E-15	2,246407983
Dentro de grupos	4,37955E+11	63	6951658889			
Total	1,48802E+12	69				



Dados obtidos na pesquisa anterior foi possível observar através de graus de tonalidade de cinza que, os solos mais úmidos apresentam maior atividade do fenômeno que os de menos umidade, em contraponto os com níveis de umidade muito acima não se faz possível registrar padrões de comportamento, muito embora haja atividade os valores de MI e imagens não se comportam ajustáveis. Na figura 11 observa-se este comportamento no solo:



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

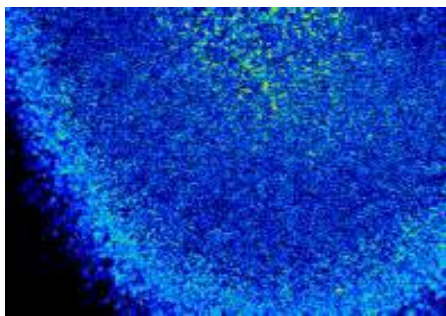


Fig. 11a Baixa Umidade

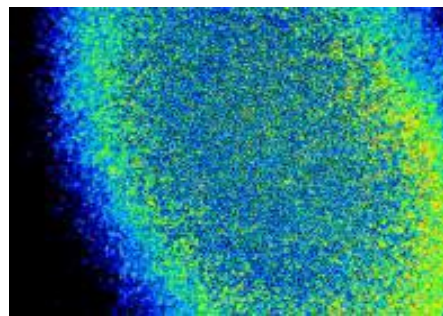


Fig. 11b Alta Umidade

Figura 11a e 11b: Níveis de Atividade medidos anteriormente pelo método da Diferença Generalizada (DG)

1. Conclusão parcial

Pode-se afirmar que a metodologia avaliada é sensível ao teor de água do solo. A identificação das faixas de frequência geradas pela interferência do solo nos teores de água estudados pode ser calculada com base no teorema da amostragem. Os resultados mostraram a uma correlação dos níveis de umidade e capacidade de campo analisados pelo método, nos quais pode ser observado até aproximadamente 25% de nível de umidade, valor que se aproxima dos descritos na literatura (30%), demonstrando que o método pode ser utilizado futuramente não apenas para análise de níveis de umidade no solo mas como também da capacidade de campo.

2. Trabalhos futuros e perspectiva

Espera-se com este trabalho a possibilidade de elaboração de equipamento responsável na manutenção da umidade do solo durante toda a irrigação, de forma rápida e eficaz.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

3. Referencias Bibliográficas

AMALVY, J. I.; LASQUIBAR, C. A.; ARIZAGA, R.; RABAL, H.; TRIVI, M. Applications of dynamic speckle interferometry to the drying of coatings **Progress in Organic Coatings**, [s.l.], v. 42, p. 89 – 99, 2001.

ARAÚJO, A. S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores Biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n.3, p.66-75, 2007.

ARIZAGA, R.; TRIVI, M. R.; RABAL, H. J. *speckle* time evolution characterization by co-occurrence matrix analysis. **Optics & Laser Technology**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 163-169, Mar. 1999.

BARETTA, D.; SOUZA, J. P., FERREIRA, C.S; CARDOSO, E.J.B.N. Colembolos como indicadores da qualidade do solo em áreas com Araucaria angustifolia. In: Congresso de ciência do solo, gramado, 2007. Resumos XXXI congresso Brasileiro de Ciencia do Solo, Porto Alegre: CBCS, p.26, 2007.

BORÉM, Flávio Meira. **Processamento de Produtos Agrícolas 1**.Lavras: Ufla, 2001. 149 p

BRAGA JR, R. A.; RABELO, G. F.; GRANATO, L. R.; SANTOS, E. F.; MACHADO, J. C.; ARIZAGA, R.; RABAL, H. J.; TRIVI, M. Detection of Fungi in Beans by the Laser Biospeckle Technique. **Biosystems Engineering**, San Diego, v. 91, n. 4, p. 465-469, Ago. 2005.

BRAGA Jr., R. A. “**Bio-Speckle**” : uma contribuição para o desenvolvimento de uma tecnologia aplicada à análise de sementes. 2000. 117 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BRAGA JÚNIOR, R. A.; BOREM, F. M.; FABBRO, I. M. D.; ARIZAGA, R.; RABAL, H. J.; TRIVI, M. R. Seeds characterization by dynamic speckle patterns: a proposal. In: PHOTONICS EAST 2000 ENVIRONMENTAL AND INDUSTRIAL SENSING, 2000, Boston. **Environmental and Industrial Sensing...** Boston : Spie, 2000.

BRAGA JÚNIOR, R. A.; BOREM, F. M.; RABELO, G. F.; FABBRO, I. M. D.; ARIZAGA, R.; RABAL, H. J.; TRIVI, M. R. Seeds analysis using bio-speckle. IN: RIAO, 2001, Tandil. **SPIE – RIAO...** Tandil: Spie, 2001.

BRAGA, R. A.; HORGAN, G. W.; MIRON, D.; RABELO, G. F.; BARRETO FILHO, J. B. Biological feature isolation by wavelets in biospeckle laser images. **Computers and Eletronics in Agriculture**, New York, v. 58, n. 2, p. 123-132, Sept. 2007.

BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ ACS, 2009. 399p.

BRIERS, J. D. Speckle fluctuations and biomedical optics: implications and applications. **Optical Engineering**, Boston, v. 32, n. 2, p. 277 - 281, 1993.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

BRIERS, J. D. Time-varying laser speckle for measuring motion and flow. **Optical Engineering**, Saratov, p. 3-6, Out. 2000.

BRIERS, J. D.; WEBSTER, S. Laser Speckle Contrast Analysis (LASCA): A Nonscanning, Full – Field Technique For Monitoring Capillary Blood Flow. **Journal of Modern Optics**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 174-178, 1995.

ENES, A. M. **Análise do comportamento de tecidos vivos e tecidos mortos em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pela ótica do biospeckle laser**. 2005. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ENES, A. M.; RABELO, G. F.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; RODRIGUES, S. Utilização do Laser aplicado na diferenciação de tecidos vivos de tecidos mortos em sementes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** Campinas: Unicamp/Embrapa, 2004.

FUJII, Hitoshi et al. Evaluation of blood flow by laser speckle image sensing.: Part. 1. **Applied Optics**, [s.l.], v. 26, n. [s.n.], p.5321-5325, 1987. Disponível em:
<<http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=ao-26-24-5321>>. Acesso em: 26 mar. 2011.

GALVÃO, R. K. H.; ARAÚJO, M. C. U.; SALDANHA, T. C. B.; VISANI, V.; PIMENTEL, M. F. Estudo comparativo sobre filtragem de sinais instrumentais usando Transformadas de Fourier e Wavelet. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 6, Nov./Dec. 2001.

HOGERT, M.A.; LANDAU, E. N.; REBOLLO, N; GAGGIOLI, G. Speckle movement due to a transversal displacement and a rotation of a rough surface. **J. Mod. Optics**, [s.l.], v. 41, p. 2229-2232, 1994.

LEHMANN, M. Measurement optimization in speckle interferometry: the influence of the imaging lens aperture. **Optical Engineering**, [s.l.], v. 36, n.4, p.1162 –1168, 1997.

LOAN, C. V. Computational frameworks for the Fast Fourier Transform. **Society for Industrial and Applied Mathematics**, Philadelphia, 1992. (Frontiers in applied mathematics, 10).

MALLAT, S. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. **IEEE Pattern Anal. and Machine Intell**, [s.l.], v. 11, n. 7, p. 674-693, 1989.

Marques, J. K. **Identificação de diferentes atividades em biofilmes por meio do biospeckle e da transformada de wavelets**. 2009. 61 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

MEYER, C. Matrix analysis and applied linear algebra. Philadelphia: Transform. **Society for Industrial and Applied Mathematics**, 2000.

MIZUKAMI, A.; MURAMATSU, M.; SOGA, D. Correlação de speckle dinâmico produzido por espalhamento de luz laser por partículas num meio líquido. In: ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA, n. 19, 1997, Caxambu. **Anais...**Caxambu: 1997.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia**



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

Agrícola, v.17, p.97-107, 1997.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

MOREIRA, M. F. B.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; BOREM, F. M.; RABAL, H. J.; RABELO, G. F.; FABBRO, I. M. Dal; TRIVI, M. R.; ARIZAGA, R. Caracterização da Transmissão da Luz Laser em semente de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) . **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 119-126, 2002.

NASCIMENTO, Álvaro Leonardo do; COSTA JUNIOR, Antonio Tavares; RABELO, Giovanni Francisco and BRAGA JUNIOR, Roberto Alves. **Desenvolvimento de um modelo para o biospeckle na análise de sementes de feijão (Phaseolus vulgaris L.)**. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2007, vol.31, n.2, pp. 456-461. ISSN 1413-7054.

OPPENHEIM, A.; SCHAFER, R.; BUCK, J. **Discrete-time signal processing**. Upper Sadle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

OULAMARA, A.; TRIBILLON, G.; DUVERNOY, J. Biological activity measurement on botanical specimen surface using temporal decorrelation effect of laser *speckle*, **Journal of Modern Optics**, London, v. 36, n. 2, p. 165-179, Feb. 1989.

PAJUELO, M.; BALDWIN, G.; RABAL, H.; CAP, N.; ARIZAGA, R.; TRIVI, M. Bio-speckle assessment of bruising in fruits. **Optics and laser in Engineering**, [s.l.], v. 40, p. 13-24, 2003.

PASSONI, L. I. Characterizing Dynamic Speckle Time Series With The Hurst Coefficient Concept. **Fractals**, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 319-329, 2004.

PASSONI, L. I.; DAI PRA, A.; RABAL, H.; TRIVI, M.; ARIZAGA, R. Dynamic speckle processing using wavelets base entropy. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 246, n. 1/3, p. 219-228, Feb. 2005.

PATORSKI, K. OLSZAK, A. digital in-plane eletronic speckle pattern chearing interferometry. **Optical Engineering**, [s.l.], v. 36, n. 7, p. 2010 –2015, 1997.

PRESS, W. **Numerical Recipes in C: the art of scientific computing**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 309 p.

RABAL, H. Activity Images: Generalized Differences, Fujii's, Lasca and Related Methods. In: RABAL, Hector J.;BRAGA JUNIOR, Roberto A. (Comp.). **Dynamic Laser Speckle and Applications**. New York: Crc Press, 2009. P. 115-136.

RABAL, H. J.; ARIZAGA, R.; CAP, NELLY; GRUMEL, E.; TRIVI, M. Numerical model for dynamic speckle: an approach using the movement of the scatterers. **Journal Of Optics A: Pure And Applied Optics**, [s.l.], v. 5, p. 381-385, 2003.

RABAL, H. J.; BRAGA Jr., R. A.; TRIVI, M. R.; DAL FABBRO, I. M. O Uso do Laser na Agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia, 1998. 1CD-ROM.

RABAL, H. J.; TRIVI, M. R.; ARIZAGA, R. Transient Phenomena Analysis Using Dynamic Speckle Patterns. **Optical Engineering**, [s.l.], v. 35, p. 10 - 12, 1996.

RABELO, G. F. **Avaliação da Aplicação do speckle Dinâmico no Monitoramento da Qualidade da Laranja**. 2000. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

Campinas, Campinas.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

RIVEST, R. L.; SHAMIR, A.; ADLEMAN, L. A method of obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. **Communications of the ACM**, New York, v. 21, n. 2, p. 120-126, 1978.

RODRIGUES, S. **Efeito Estocástico em Speckle Dinâmico**. 2007. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ROMERO, G. G. **Estudio y caracterizacion de patrones de speckle que varian en el tiempo**. 1999. 133 p. Tese (Doutorado em Física) - Universidad Nacional de Salta, Argentina.

RUIZ, B.; CAP, N.; RABAL, H. Local correlation in dynamic speckle. **Optics Communications**, [s.l.], v. 245, p. 103 – 111, 2005.

SILVA, E. R. DA . **Estudo das propriedades do Biospeckle e suas aplicações**.n São Paulo, 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Departamento de Física Geral, Universidade de São Paulo.

SUZUKI T., SASAKI O., MARUYAMA T. Real-time vibration measurement using a feedback type of laser diode interferometer with an optical fiber. **Optical Engineering**, v. 36, n. 9, p. 9 – 11, 1997.

TRAXCO. **Umidade em solos de diferente textura | Irrigação.Net**. Disponível em: <<https://www.irrigacao.net/irrigacao/humidade-em-solos-de-diferente-textura/>>. Acesso em: 14 maio. 2018.

WANG, L.; JAMBUNATHAN, K.; DOBBINS, B. N. measurement of three-dimensional surface shape and deformations using phase stepping speckle interferometry. **Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers**, [s.l.], v. 36, n. 2333, p. 110 – 126, 1996.

XU, Z. J.; JOENATHAN, C.; KHORANA, B. M. Temporal and spatial properties of the time-varying speckles of botanical specimens. **Optical Engineering**, Bellingham, v. 34, n. 5, p. 1487-1502, Mai. 1995.